

İnsansız Hava Araçları Sürülerinin Akıllı Hedef Tespit Yöntemi

Ziya SAYGILI¹  Güzin ÖZMEN² 

¹ Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye
ziyasaygili@gmail.com

² Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye
gozmen@selcuk.edu.tr (Corresponding Author/Sorumlu Yazar)

Makale Bilgileri

ÖZ

Makale Geçmişi

Geliş: 15.05.2022

Kabul: 25.06.2022

Yayın: 30.06.2022

Anahtar Kelimeler:

Sürü İHA,
Hedef Tespiti,
Optimizasyon

Askeri ve kamusal alanlarda çeşitli görevlerde kullanılmak üzere geliştirilen İnsansız Hava Araçlarının (İHA) kullanım alanlarından biri de geniş arazi ortamlarında hedef arama çalışmalarıdır. Aranacak hedefin boyutunun genişlemesi ve sayısının artması durumunda İHA'ların tek başına kullanılması yetersiz kalmakta, bu soruna çözüm olarak, İHA sürüleri oluşturulmaktadır. İHA sürülerinin hedef tespitinde kullanılması, arama süresini kısaltmakla beraber daha büyük alanlarda arama yapma imkânı sunmaktadır. Bu çalışmada simülasyon ortamında hedef arama yapmak üzere bir sürü İHA sisteminin kurulması ve arama bölgesinden kaçan hedeflerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, Parçacık Sürü Optimizasyonu'ndan faydalanılarak sürü İHA'ların hız ve konum bilgileri güncellenmiş, sürüdeki İHA'ların hızları, komşu İHA'lar arasındaki konum ve hız değerlerine göre hesaplanmıştır. Hedeflere ulaşmak için taranacak alanın matris değerlerini belirlemek amacıyla oluşturulan fonksiyonlara koordinat verileri eklenmiştir. Sürü İHA'ların yol planlaması oluşturulurken üs bölgesinde başlağıçtan-bitişe kadar Dubins ve Bezier Eğrileri kullanılarak İHA'ların dönüşlerinin yumuşatılması sağlanmıştır. Sonuç olarak sürü İHA'lar simülasyon haritasının -800 ile 1000 aralığındaki x ve y koordinatları içerisinde 30 km/saate varan hıza ulaşmış, 02.29 dakikada hedefin kontrolü ve imhası gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları çoklu İHA görevlerinde hedef arama sürecinin azaltılmasına katkı sunmaktadır.

Intelligent Target Detection Method of Unmanned Aerial Vehicle Swarms

Article Info

ABSTRACT

Article History

Received: 15.05.2022

Accepted: 25.06.2022

Published: 30.06.2022

Keywords:

UAV Swarms,
Target detection,
Optimization

One of the areas of use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) developed for use in various missions in military and public areas is target search activities in large terrain environments. In the event that the size of the target to be sought expands and the number increases, the use of UAVs alone is insufficient, and as a solution to this problem, UAV swarms are created. The use of UAV swarms in target detection shortens the search time and offers the opportunity to search in larger areas. In this study, it is aimed to establish a lot of UAV systems to search targets in the simulation environment and to detect the targets fleeing from the search zone. In the study, the speed and position information of the swarm UAVs were updated by using Particle Swarm Optimization, and the speeds of the UAVs in the swarm were calculated according to the position and speed values between the neighboring UAVs. Coordinate data has been added to the functions created to determine the matrix values of the area to be scanned to achieve the goals. When the road planning of the swarm UAVs was created, the rotations of the UAVs were softened by using Dubins and Bezier Curves from start to finish in the base area. As a result, the swarm UAVs reached a speed of up to 30 km/h within the x and y coordinates of the simulation map in the range of -800 to 1000, and the control and destruction of the target was carried out in 02.29 minutes. The simulation results contribute to reducing the target search process in multiple UAV missions.

Atıf/Citation: Saygılı, Z. & Özmen, G. (2022). İnsansız Hava Araçları Sürülerinin Akıllı Hedef Tespit Yöntemi, *Five Zero*, 2(1), 13-27.



"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)"

GİRİŞ

Toplu hareket sağlayan İnsansız Hava Araçları (İHA) birden fazla, otonom veya yarı-otonom olarak kontrol edilebilen, birbiri ile sürekli iletişim halinde olan, yaptıkları görevi bir bütün olarak icra eden, farklı boyut ve yetenekleri olan hava araçlarıdır (Hocraffer ve Nam, 2017). Günümüzde sürü zekası, tabiattaki büyük hayvan sürüleri incelenerek ve onlara bağlı davranış biçimleri örnek alınarak, yapay zeka çalışmalarına uyarlanmıştır ve belli başlı fiziki prensiplere dayanmaktadır (Marton-Alper ve ark., 2020). İHA kullanım alanlarının artması ile tek bir İHA' nın yerine getiremeyeceği görevlerde kullanılmak üzere birbiri ile koordineli hareket eden İHA grupları kullanılarak sürü hareketi görevleri oluşturulmaktadır. Bu görevler arasında koordineli akın (Zavlanos ve ark., 2007), geniş arama oluşumları (Khan ve ark., 2020; Stephan ve ark., 2017) ve yük taşıma (Michael ve ark., 2011) işlemleri bulunmaktadır. Sürü boyutlarını belirleme; arama-kurtarma veya hedef tarama gibi görevlere göre değişmektedir. Bu görevler, bir sürü içindeki İHA' ların her birine otonom olarak yön ve hedef atama, sürü için yol planlama ve sürü işbirliğinden meydana gelmektedir (Marton-Alper ve ark., 2020).

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte, üretim, afet kurtarma ve askeri alanlar gibi toplum üzerinde yüksek etkiye sahip çalışmalarda sürü otonom İHA' lar kullanılmaya başlanmıştır (Chung ve ark., 2018). Bu uygulamalarda saldırı koordinasyonu ve keşif görevlerinde, İHA sürüsü birden fazla alanı tek bir alandan daha kısa sürede kaplayabilmelidir ve herhangi bir sürü üyesinin başarısızlığı, görevin başarısız olmasına yol açmamalıdır. Bununla birlikte, sürünün büyüklüğü arttıkça ortak bir planlama ve algılama algoritmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Wubben ve ark., 2021). Sürü İHA' ların görevleri yerine getirmeleri ve ortaya çıkan tehditleri önlemeleri için geliştirilen uygulamalar ile kriterleri belirlenen yol planlamaları yapmaları gerekmektedir (Phung ve Ha, 2021). Sürülerde göreve bağlı problemleri çözme algoritmaları; merkezi algoritmalar ve dağıtılmış algoritmalar olmak üzere iki temel kategoriye ayrılır. Sayım yöntemi, dinamik programlama, dal-sınır prosedürü vb. gibi birçok dağıtılmış algoritmanın yanında, genetik algoritma (Liu ve Kroll, 2016), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), (Oh ve ark., 2016), karınca kolonisi optimizasyonu (Boveiri, 2017), kurt sürüsü algoritması (Wu ve Zhang, 2014) ve kedi sürüsü optimizasyonu (Rautray ve Balabantaray, 2017) gibi optimizasyon algoritmaları bulunmaktadır. Sürülerde görev tahsisinin yapılmasında, devasa hesaplama karmaşıklığı, merkez düğüm için zorluğa sebep olmaktadır. Ayrıca, işbirlikçi özelliklerin kullanılmaması, dinamik sürü ortamında elde edilen sonuçların performansını zayıflatmaktadır (Novoa-Hernández ve ark., 2016). Dolayısıyla dinamik görev tahsisi problemini çözmek için dağıtılmış algoritmalar ile İHA' lar arasındaki bilgi etkileşiminin sürdürülmesi gerekmektedir.

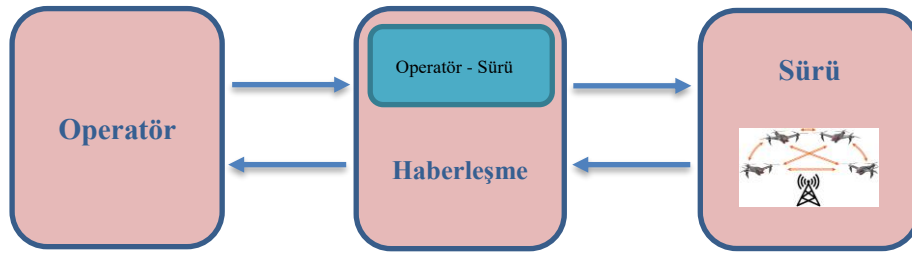
Sürü zekası, iş birliği yapan biyolojik grupların akıllı davranışından gelmektedir ve kendi kendini organize etme özelliklerine sahiptir. Sürüdeki organizasyon işlemlerinde karınca kolonisi algoritması (Dorigo ve Stützle, 2019), PSO (Zhang ve ark., 2015) ve krill sürü algoritması (Wang ve ark., 2016) gibi çeşitli organizmalardan ilham alınarak oluşturulan algoritmalar kullanılmaktadır (Feng ve ark., 2021). Bakteriyel yiyecek arama optimizasyon algoritması (Hernandez-Ocana ve ark., 2018) , ateş böceği algoritması (Fister Jr ve ark., 2015), Diferansiyel Evrim (Zhang ve ark., 2013) gibi optimizasyon algoritmaları da sürü zekası algoritmalarına örnek olarak verilebilir. Son yıllarda programlama (Lu ve ark., 2018) , parametre tahmini (Rodriguez-Guerrero ve ark., 2017), özellik seçimi (Zhang ve ark., 2019) ve sürü robotik sistemleri (de Sá ve ark., 2016) gibi karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan ve geliştirilen algoritmaların sayısı günden güne artmaktadır.

İnsansız otonom teknolojisi, sürü çalışması ile birleştirildiğinde hem saldırı hem de savunma amaçlı tasarlanan operasyonel askeri görevlerde avantaj sağlayabilmektedir. Bunun yanında

operasyonel faaliyetlerde, yapay zekâ kullanımı, koordinasyonda başarıyı ve hızı arttırabilmektedir (Phung ve Ha, 2021). Uzaktan algılama teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ile yapay zekânın alt dalı olan makine öğrenmesi, yapay zekâyâ dayalı İHA sistemlerinin gelişimine; kontrol merkezi, seyrüsefer, algılama, engel tespiti ve engelden kaçma, sürü manevraları ve taktikleri, insan-sürü haberleşmesi gibi konularda katkı sağlamaktadır.

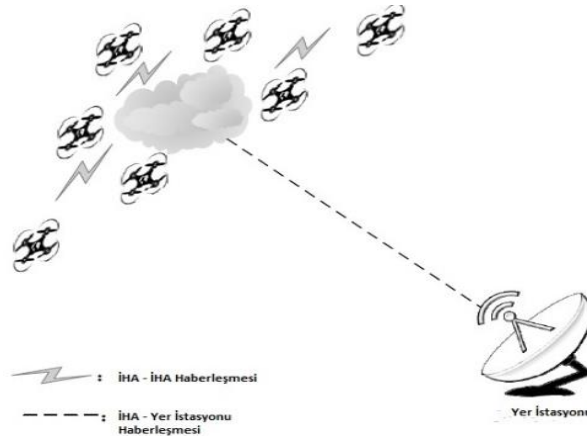
SÜRÜ İHA

Teknolojideki ilerlemeler küçük boyutlu İHA' ların büyük boyutlu İHA' larla aynı işlevleri yerine getirmesine olanak sağlamıştır. Ancak dayanıklılık, yük taşıma ve uzun menzilli iletişim gibi konularda meydana gelen kısıtlarından dolayı bir İHA' nın tek başına yerine getiremeyeceği bazı görevlerde toplu ve koordineli hareket eden İHA sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Sürü İHA, verilen görevleri başarmak üzere seferberlik yapan ve yer istasyonundan kontrol edilebilen bir İHA topluluğudur. Şekil 1'de bir insan-sürü kontrol sistemi görülmektedir. İnsan-sürü kontrol sisteminde operatörün tercihine bağlı olarak sürünün kontrolü ve sürü ile bilgi alış-verişi yapılmaktadır. Sürü İHA' ların oluşturulmasında çeşitli algoritmaların geliştirilmesi ve bu algoritmaların optimize edilmesi gerekmektedir. Sürü algoritmasının işleyişi bir bölgedeki hedefin tespit edilmesi ve sürü İHA sistemi ile bu hedefin dağılımının takip edilmesine dayanmaktadır (Vásárhelyi ve ark., 2018).



Şekil 1. İnsan-sürü İHA Kontrol Sistemi

Şekil 2' de bir sürünün yer istasyonu ile haberleşmesi görselleştirilmiştir. Sürüdeki İHA' lar işbirlikçi kontrolü optimize etmek ve verimliliği arttırmak için durum bilgilerini yer istasyonu ile gerçek zamanlı olarak paylaşabilmelidir.



Şekil 2. Sürü İHA Haberleşmesi (Chen ve ark., 2020)

Sürülerdeki İHA'ların birbirleri ve yer istasyonu ile etkin bir haberleşme sağlayabilmesi için; terminallerin yüksek veri hızlarına sahip olması, tüm terminallerin üzerinde GPS ünitelerinin bulunması ve terminaller arasında konum bilgisinin paylaşılması, iletişim kapsama alanının geniş olması, çarpışma önleme yöntemlerinin bulunması, rota bulma yöntemlerinin bulunması, sağlam ve güvenilir bir haberleşme altyapısı olması gibi bazı temel gereklilikler bulunmaktadır.

Aynı zamanda İHA'ların hava sahasına entegrasyonunun sağlanabilmesi için bir yol haritasının oluşturulması ve taranacak alanların belirlenmesi gerekmektedir. Sürü halinde hareket eden İHA'lar, harp alanlarından anlık olarak veri toplama, veriyi işleme, bu işlem sonucunda ortaya çıkan duruma göre hareket etme ve hedefi yok etme kabiliyetine sahiptir.

Bu çalışmada tasarlanan bir sürü İHA sistemi ile, operatörlerin sürünün durumunu görselleştirmesine, sürüyü istenilen bölgeye yönlendirmesine ve sürünün oluşturduğu bilgilerin izlenmesine olanak sağlayan, kullanıcı etkileşimli bir simülasyon oluşturulması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen sürü İHA simülasyonunda operatör, sürünün durumunu kontrol etmek için İHA'ların yayınladığı mesajları kullanmıştır.

Tasarım ve Sistem Mimarisi

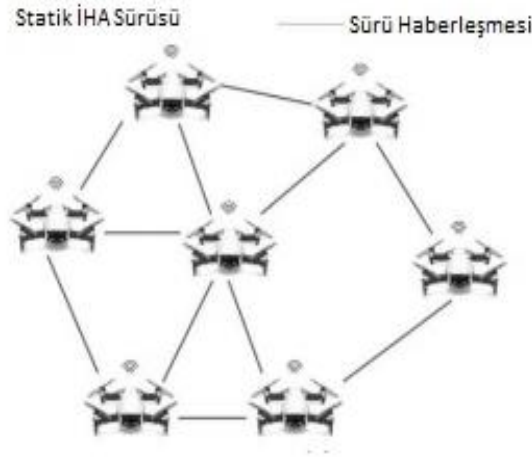
Sürü İHA sistemlerinin kontrolü iki yaklaşımla tanımlanmaktadır. İlk yaklaşımdaki genel amaç, sınırlı yeteneğe sahip hava araçlarının iş birliği yapması sonucunda karmaşık görevleri gerçekleştirme kabiliyetine sahip olmaktır. Bu kapsamda, kontrol sistemi düşük hesaplama gücüne ve düşük maliyete sahip olmalıdır. İkinci yaklaşıma göre; İHA'lar dinamik bir ortama uyum sağlayacak düzeyde dağılmış olmalıdır ve birden çok İHA'nın iş birliği içerisinde otonom görev yapması, basit ve kullanımı kolay bir araç mimarisi geliştirilmesi, sistem entegrasyonunun sağlanması (Gövde, otopilot, görev kontrol işlemcisi, sensörler ve iletişim) amaçlanmaktadır (Bamberger ve ark., 2006).

Bahsedilen bu amaçları yerine getirmek üzere, bu çalışmada MATLAB Simulink platformu içerisinde bir kontrol sistemi oluşturulmuştur. Kontrol sisteminin görevleri; operatörden komutların alınması, araçlar arası ve yer kontrol istasyonu ile veri alışverişinin sağlanması, aracın durumu ile ilgili gerekli değişikliklere karar verilmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Sürü İHA'larda Konuşlanma

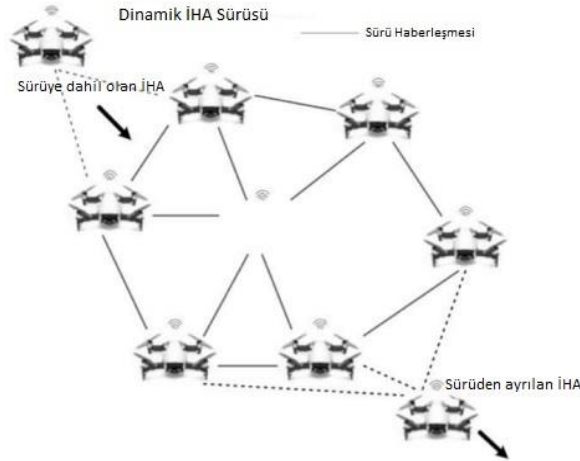
Sürü İHA'ların genel görevleri arasında sinerjik görev planlaması, hata toleransı belirlenmesi, sürü kontrolü, görev planı tasarımı, rol ataması, çoklu yol planlaması, keşif ve haritalama ve hedef takibi yer almaktadır (Shucker ve Bennett, 2005). İHA sürülerindeki konuşlanma seçim süreci, görev gereksinimlerine, İHA mevcudiyetine ve organizasyon tercihlerine dayanmaktadır ve statik sürü, dinamik sürü ve hibrit sürü olmak üzere üç grupta incelenmektedir.

Statik Sürü; İHA sürülerinin önceden belirlendiği, formasyon uçuşundan önce yerine getirilecek göreve göre İHA'ların seçildiği bir sürü türüdür. Görevin başlamasıyla, uçuşa herhangi bir İHA'nın dahil edilmesine imkân sağlamamaktadır. Sürüye yeni üye kabul edilmediği için sürüye ait olmayan bir İHA, harici bir varlık olarak değerlendirilmektedir. Şekil 3'te birbirleri ile haberleşebilen İHA'ların yer aldığı bir statik sürü örneği görülmektedir.



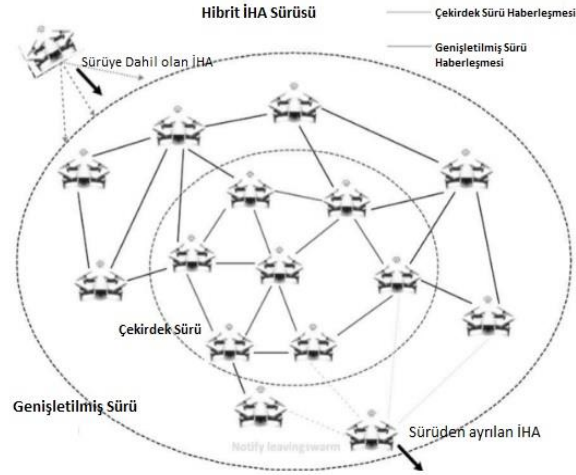
Şekil 3. Statik İHA Sürüsü (Xia ve ark., 2020)

Dinamik sürü, İHA sürüsüne yeni üyelerin girişine olanak sağlayan, mevcut üyelerin sürüden ayrılabilirdiği ve tekrar dâhil edilebildiği sürü çeşididir. Şekil 4’ de görseli paylaşılan bir dinamik sürüde mevcut üyelerin görev aşaması dâhil olmak üzere herhangi bir zamanda sürüden çıkmasına izin verilmektedir.



Şekil 4. Dinamik İHA Sürüsü (Xia ve ark., 2020)

Hibrit sürü, hem statik hem de dinamik davranan bir sürü konuşlanma türüdür. Hibrit sürü, merkezde operasyonlar açısından tek varlık gibi görev yapan bir çekirdek sürüden ve sürüye yeni üyelerin dahil olma ya da var olan üyelerin sürüden ayrılma olanağı bulunan genişletilmiş sürüden oluşmaktadır. Hibrit sürülerde karar verme aşamasında çekirdek sürünün önceliği bulunmaktadır. Sürünün büyümesiyle birlikte sürüye katılan İHA’lar çekirdeğe yani statik sürüye katkı sağlamaktadır. Şekil 5’ de görseli paylaşılan bir hibrit sürüde göreve bağlı olarak İHA’ların sürüden kollektif olarak ayrılabilirdiği veya sürüye dahil olabildiği görülmektedir.



Şekil 5. Hibrit İHA Sürüsü (Xia ve ark., 2020)

YÖNTEM

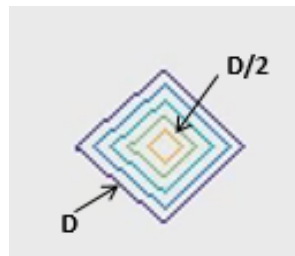
Sürü Hedefi

Bir hedef arama çalışmasında; hedefler aranan bölgenin sınırları içerisinde belirli bir hızda (yaya veya araçların hareket edebileceği V_{HEDEF} hız varsayımında) hareket edebilmektedir ve İHA'lar, her bir hedefin gerçek hızına veya rotasına ilişkin bilgiye sahip değildir. Hedefler kendi rotasını ve hızını ayarlamakta özgürdür ve akıllıca kaçma yeteneğine sahip olduğu varsayılır. Her hedef, arama yapan İHA'ları belirli bir mesafeden (arayıcıların tespit menziline çok ötesinde) tespit edebilmektedir ve daha sonra tespitten kaçmak için manevra yapabilmektedir.

Bu çalışmada, İHA'lar hedef tespitine odaklanmıştır. Hedef bilgisine erişim sağlayan bir İHA'nın, diğer üye İHA'lar ile bilgi paylaşımında bulunması amaçlanmıştır.

Arama Bölgesi

Hedef arama işlemini gerçekleştirmek için, göreve bağlı olarak operatörün tercihine bırakılan ve her biri sabit $V_{İHA}$ hızında uçan bir İHA grubu oluşturulur ve her bir aracın belirli bir algılama menziline göre hedefleri tespit edebileceği varsayılmaktadır. Şekil 6'da bir hedef arama işlemi görülmektedir. D ; menzili belirlemede kullanılan çap değeri olmak üzere, sürü içerisindeki bir İHA hedefin genişletilmiş arama işleminde; $D/2$ radyal mesafe içine yerleştirilmiş bir hedefi tespit etmektedir ve bu aralığın dışında bulunan hedefleri çemberi genişleterek arama işlemini sürdürmektedir.



Şekil 6. Hedef Arama İşlemi

Böyle bir çalışmada arama bölgesinin önceden bilindiği varsayılmaktadır, yani hedeflerin yeri kesin olmasa da belirli bir sonlu düzlemsel bölge ile sınırlı olduğu bilinmektedir. Bu varsayım, gerçek uygulamalarda olduğu gibi sensörlerin sınırlı algılama süresine sahip olmasından

kaynaklanmaktadır.

Basitçe ifade etmek gerekirse, bir hedefin konumu X genişliğinde ve Y uzunluğunda ve $A = X \cdot Y$ alanlı dikdörtgen bir bölge ile sınırlıdır. Genellik sınırlaması olmaksızın, X etiketi bölgenin daha kısa tarafına ($X \leq Y$) atanmaktadır ve X'in genellikle simülasyondaki D algılama çapından daha büyük olması sağlanmaktadır. Hedef aramanın dikdörtgen içinde sınırlı kalmasının dışında, hedeflerin konumlarıyla ilgili başka hiçbir bilgi mevcut değildir. Bu nedenle, bir hedefin konumunun belirlenen bölgeye eşit olarak dağıldığı varsayılmaktadır.

Bu çalışmada hareketli hedeflerin taranması için minimum İHA sayısı Eşitlik 1'e göre belirlenmiştir. Bu eşitlikte; tarama alanı $A = X \cdot Y$, hedefin menzil çapı D, sürüde bulunan İHA'ların her birinin hızı $V_{İHA}$ ve her bir hedefin hızı ise V_{HEDEF} olarak belirlenmiştir.

$$\dot{İHA}_{\min} = \left\lceil \frac{A \cdot V_{HEDEF}}{D \cdot V_{İHA}} \right\rceil \quad (1)$$

Algoritma

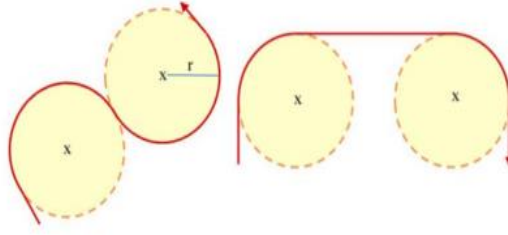
Bu çalışmada gerçekleştirilen algoritmanın yürütülmesi (İHA'ların gerektirdiği her türlü uyarılama dahil), İHA'lar arasında minimum sayıda kontrol bilgisi aktararak gerçekleştirilmektedir. Sürü İHA'lar, görevin başarılı bir şekilde tamamlanmasını garanti etmelidir. Sınırlı sayıları, bir İHA arızası durumunda İHA dizisinin otomatik olarak yeniden yapılandırılmasına izin vermelidir. Sürüdeki İHA sayısı, uçuştan önce (yer komutanları tarafından) kararlaştırılmalı ve her bir İHA'ya sürüdeki konum bilgisi ve uçuş izini sağlanmalıdır.

Bu çalışma için amaçlanan uygulamada; İHA'lar için bir arama-tarama algoritmasının yanında İHA'lar arasında görev değişimi için gereken veriyi işlemek aynı zamanda bir İHA kaybı olması durumunda arama işlemini değiştirmek için de algoritmalar gerçekleştirilmiştir. Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'e göre hazırlanan bir PSO algoritmasından faydalanılarak sürü İHA'ların hız ve konum güncellemeleri yapılmıştır. Eşitlik 2' de, İHA'nın önceki hızına (V_{id}), sürüdeki üyenin şimdiye kadarki en iyi uygunluğun elde edildiği (P_{id}) konumuna ve komşuları arasındaki konum (P_{gd}) değerine dayalı olarak her sürü için yeni bir hız hesaplanmıştır ve rastgele sayılardan oluşan $r_1 - r_2$ ve $c_1 - c_2$ öğrenme faktörleri oluşturulmuştur. Böylelikle simülasyon sürecindeki en iyi koordinasyonun elde edilmesi amaçlanmıştır. Eşitlik 3' de ise, her bir sürü üyesinin konumu (X_{id}) ve atalet ağırlığı (W) kullanılarak hız değerleri güncellenmiştir (Liu ve ark., 2016).

$$V_{id} = W V_{id} + c_1 * r_1 * (P_{id} - X_{id}) + c_2 * r_2 * (P_{gd} - X_{id}) \quad (2)$$

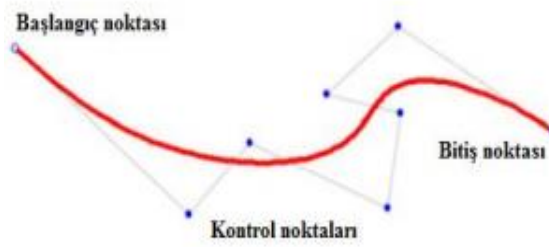
$$X_{id} = X_{id} + V_{id} \quad (3)$$

Hedef arama verimliliğini arttırmak için, Şekil 7' de görüldüğü gibi İHA'lar ile dairesel bir çizgi konfigürasyonu yani Dubins Eğrisi oluşturulmaktadır (Živojević ve Velagić, 2019). Dubins Eğrisi, dairesel güzergâh takibinde oluşan kinematik ve dinamik kısıtlamaların önüne geçmektedir.



Şekil 7. Dubins Eğrisi

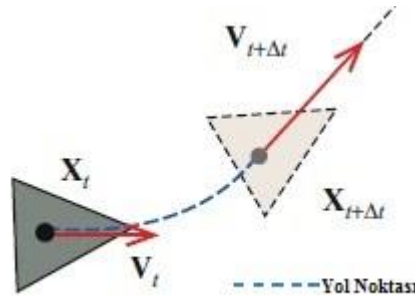
Aynı zamanda simülasyondaki sürü İHA'ların dönüşlerini yumuşatabilmek amacıyla uygulamada Şekil 8' de verilen Bezier Eğrileri kullanılmıştır (Song ve ark., 2021). Hedef arama işleminde, her bir İHA'nın hedefin tam üzerinden geçme zorunluluğu olmadığı için bu yöntem tercih edilmiştir.



Şekil 8. Bezier Eğrisi

Yol Planlaması

Bu çalışmada gerçekleştirilen yol planlamasında, üretilen güzergâh noktaları için bir fonksiyon oluşturulmuştur. Oluşturulan fonksiyonda Şekil 9'da gösterildiği gibi sürü üyesinin anlık hızı V_t , anlık konumu X_t , Δ_t birim zaman sonraki hızı ve konumları ise $V_{t+\Delta t}$, $X_{t+\Delta t}$ olarak ifade edilmiştir. Ayrıca İHA'ların dönüşlerinde yön açısının serbest olduğu kabul edilmiştir. Sürü planlamasında, İHA'ların yol noktaları; mevcut konumun bir sonraki konuma oranı ile Eşitlik 4' de yer alan fonksiyon ile belirlenmiştir (Moon ve ark., 2013).

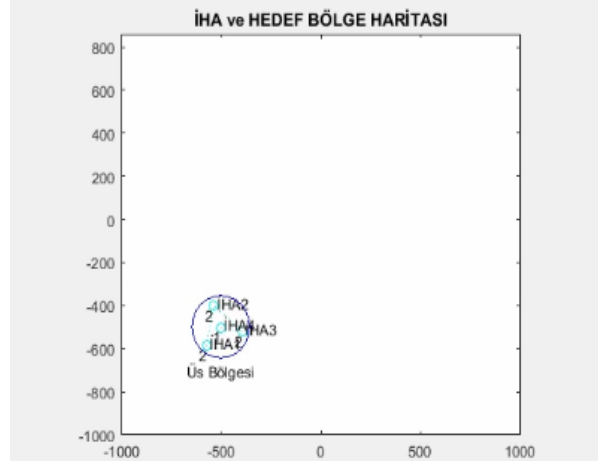


Şekil 9. Yol Planlaması (Moon ve ark., 2013)

$$J_{Yol\ Noktası} = 1 - \exp\left(\frac{\|X_{Yol\ Noktası} - X_{t+\Delta t}\|}{\|X_{Yol\ Noktası} - X_t\|}\right) \quad (4)$$

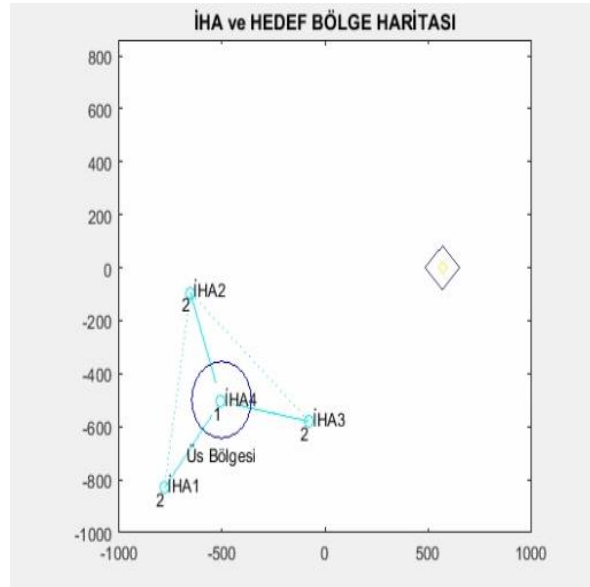
Simulasyon

Bu çalışmada bir sürü İHA sisteminin kurulması için gerekli uygulamalar MATLAB Simulink ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle üs bölgesinde bulunması istenen İHA sayısı (Nagents = 4) simülasyona eklenmiş, daha sonra aktif İHA sayısı yani sürüde yer alacak İHA (Active_Agents = 3) sayısı belirlenmiştir. Bu işlem sonucunda Şekil 10'da simülasyonda oluşturulan sürülerin İHA üs bölgesindeki durumu görülmektedir.



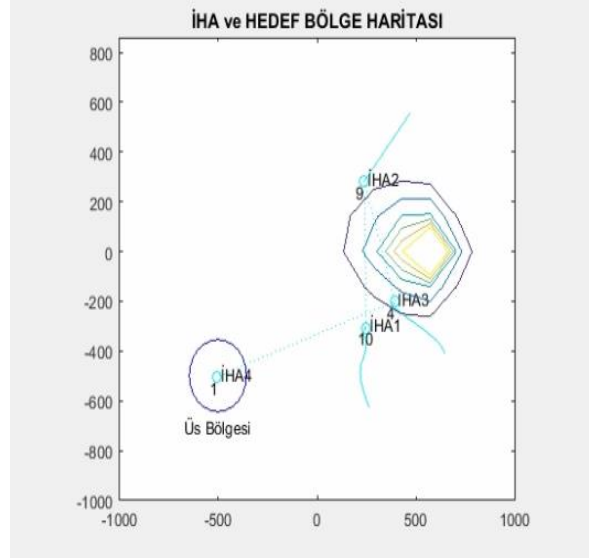
Şekil 10. İHA Üs Bölgesi

Sürüde kullanılacak İHA sayısının belirlenmesinden sonra sırasıyla; başlangıç süresi ($t=0$), sayma işlemi (activeCounter = 0) ve okuma sırasında bekleme süresi (readToDeploy = 0) parametreleri belirlenmiş ve ardından harita koordinatı verileri simülasyona eklenmiştir. Oluşturulan hız ve eğri fonksiyonu ile İHA'ların daha küçük açılarda dönüşler yapabilmesi sağlanmıştır. Şekil 11'de üs bölgesinden kalkış yapan İHA'ların harita üzerinde tarama gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu aşamada farklı noktalardan uçuşlar gerçekleştirilerek detaylı hedef taraması yapılmıştır.



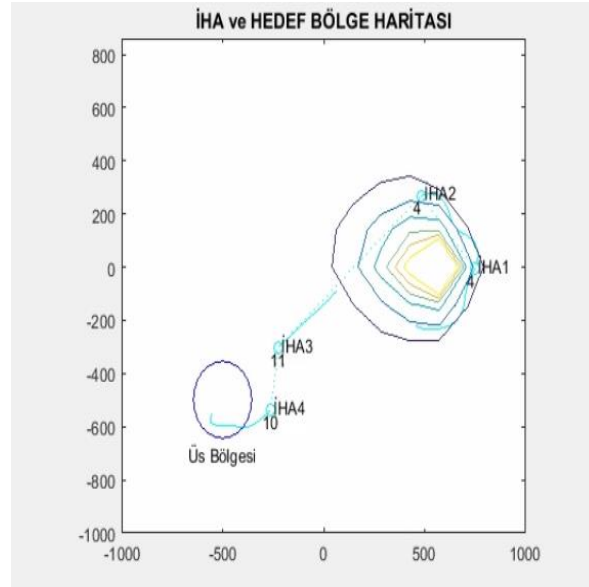
Şekil 11. Detaylı Hedef Tarama

Şekil 12’de İHA’ların tespit edilen hedef noktasına yöneldiği görülmektedir. Hedefi yakalayan İHA, sürüde bulunan aktif İHA’lar ile bilgi paylaşarak hedefe yönelme ve hedefi etkisiz hale getirme işlemini tamamlamıştır.



Şekil 12. Sürünün Tespit Edilen Hedef Noktasına İlerlemesi

Hedefi yok etme işlemi gerçekleştirildikten sonra üs bölgesinde bulunan İHA’ya bilgi gönderilmiştir. Hedef koordinatını bilen üs bölgesindeki İHA haritada tarama işlemi yapmadan koordinata yönelmiştir. Hedefin etkisiz hale getirilmesini onaylayan İHA’lar ise üsse dönüş sağlamıştır. Şekil 13’te görülen sürüde bulunan İHA’ların hangi görevleri gerçekleştirdiği üzerinde bulunan görev kodları ile takip edilmektedir.



Şekil 13. Sürü İHA Görev Çıktıları

Sürü İHA’ların üzerinde yer alan görev kodlarının yaptığı işlemler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. *Sürü İHA Görev Tablosu*

Görev Kodu	Yaptığı İşlem Bilgileri
1	Başlatılmayı Bekliyor.
2	Yayıma Görevleri
3	Spiral Çizme (Arama Modu)
4	Hedef İzleme
5	İHA Geride Kaldığı için Hızlanma
6	İHA Önde Olduğu için Yavaşlama
7	Çarpışmadan Kaçınma (Geri Dön)
8	Harita İçerinde Kalma ve Çarpışmadan Kaçınma (Uzaklaşma)
9	İHA'nın Üsse Doğru Uçarak Sınırların Dışına Çıkmasını Önleme
10	İHA'nın Hedefe Doğru İlerlemesi
11	İHA'nın Üsse Dönüşü
12	İzleme Sırasında İHA'nın Haritadan Çıkmasını Önleme

BULGULAR

Bu çalışmada simülasyonda oluşturulan bir sürü İHA ile hedef tespiti gerçekleştirilirken hava şartlarının optimizasyona etkisi de hesaplanmıştır. Böylece, İHA'ların optimal strateji için önemli olan çevre bilgileri algoritmada işlenmiştir. Eşitlik 5'te X_t İHA'nın konumunu, X_w rüzgâr hızını ve θ_w rüzgâr yönünü temsil etmek üzere, sensör verilerinin durum uzayları (S) oluşturulmuştur.

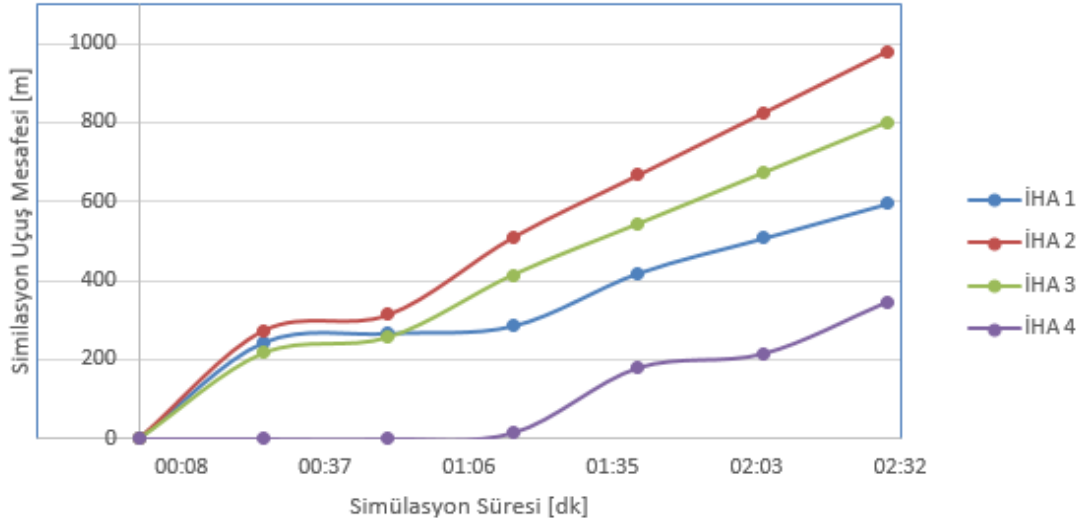
$$S = (X_t, X_w, \theta_w) \quad (5)$$

Oluşturulan durum uzay sayesinde operatörün girmiş olduğu aktif İHA sayısı ve ortamın rüzgâr verisi ile hız, konum ve simülasyon süresi sonuçları elde edilmiştir. Sürü İHA'lar simülasyonda, hedef tespitini 2 dakika 29 saniyede tamamlamıştır. Sürü İHA simülasyon verilerinin yer aldığı sonuçlar Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. *Sürü İHA Veri Sonuçları*

İHA Sayısı	Hız (V_{id})	İHA'lar Arası Konum (P_{id})	Koordinat (X_{id})		Rüzgâr (S)	Simülasyon Süresi (dk)
1. İHA	24 (km/s)	221 m	x=771	y=3	8,2 (m/s)	01:27
2. İHA	27 (km/s)	238 m	x=482	y=287	6,6 (m/s)	01:46
3. İHA	22 (km/s)	274 m	x=-239	y=-314	7,4 (m/s)	02:17
4. İHA (Doğrulayıcı)	30 (km/s)	1000 m (üs bölgesi)	x=-500	y=-500	7,2 (m/s)	02:29

Sonuç olarak, sürü İHA'lar ve PSO kullanılarak hedef tespitinin gerçekleştirildiği bu çalışmada, İHA veri sonuçlarına göre sürünün toplam uçuş mesafesine bağlı simülasyon süreleri Şekil 16'da görülmektedir.



Şekil 16. Sürü İHA Simülasyon Süreci

SONUÇ

Bir sürü İHA topluluğunda İHA'lar toplam uçuş mesafesi, uçuş süresi gibi uçuş maliyetlerini en aza indirecek şekilde geçiş noktalarından geçmelidir. Bu durum optimum yol planlaması ile gerçekleşmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen hedef arama ve tespit uygulamasında İHA'ların uzak mesafelere uçtuğu gözlenmiş, uçuş maliyetlerini azaltmak için PSO algoritması ile sürüdeki İHA'ların hız ve konumları güncellenmiş sonuç olarak düşük uçuş mesafesi ile ve süresi ile hedef tespiti gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Bamberger, R. J., Watson, D. P., Scheidt, D. H., & Moore, K. L. (2006). Flight demonstrations of unmanned aerial vehicle swarming concepts. *Johns Hopkins Apl Technical Digest*, 27, 41-55.
- Boveiri, H. R. (2017). An incremental ant colony optimization based approach to task assignment to processors for multiprocessor scheduling. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 18(4), 498-510.
- Chen, X., Tang, J., & Lao, S. (2020). Review of unmanned aerial vehicle swarm communication architectures and routing protocols. *Applied Sciences*, 10(10), 3661.
- Chung, S.-J., Paranjape, A. A., Dames, P., Shen, S., & Kumar, V. (2018). A survey on aerial swarm robotics. *IEEE Transactions on Robotics*, 34(4), 837-855.
- de Sá, A. O., Nedjah, N., & de Macedo Mourelle, L. (2016). Distributed efficient localization in swarm robotic systems using swarm intelligence algorithms. *Neurocomputing*, 172, 322-336.
- Dorigo, M., & Stützle, T. (2019). Ant colony optimization: overview and recent advances. *Handbook of metaheuristics*, 311-351.
- Feng, Y., Deb, S., Wang, G.-G., & Alavi, A. H. (2021). Monarch butterfly optimization: a comprehensive review. *Expert Systems with Applications*, 168, 114418.
- Fister Jr, I., Perc, M., Kamal, S. M., & Fister, I. (2015). A review of chaos-based firefly algorithms: perspectives and research challenges. *Applied Mathematics and Computation*, 252, 155-165.
- Hernandez-Ocana, B., Chavez-Bosquez, O., Hernandez-Torruco, J., Canul-Reich, J., & Pozos-Parra, P. (2018). Bacterial foraging optimization algorithm for menu planning. *IEEE Access*, 6, 8619-8629.
- Hocraffer, A., & Nam, C. S. (2017). A meta-analysis of human-system interfaces in unmanned aerial vehicle (UAV) swarm management. *Applied ergonomics*, 58, 66-80.

- Khan, A., Tolstaya, E., Ribeiro, A., & Kumar, V. (2020). Graph policy gradients for large scale robot control. *Conference on robot learning*,
- Liu, C., & Kroll, A. (2016). Performance impact of mutation operators of a subpopulation-based genetic algorithm for multi-robot task allocation problems. *SpringerPlus*, 5(1), 1-29.
- Liu, Y., Zhang, X., Guan, X., & Delahaye, D. (2016). Potential odor intensity grid based UAV path planning algorithm with particle swarm optimization approach. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.
- Lu, H., Zhou, Q., Fei, Z., & Zhou, R. (2018). Scheduling based on interruption analysis and PSO for strictly periodic and preemptive partitions in integrated modular avionics. *IEEE Access*, 6, 13523-13540.
- Marton-Alper, I., Gvirts-Provolovski, H., Nevat, M., Karklinsky, M., & Shamay-Tsoory, S. (2020). Herding in human groups is related to high autistic traits. *Scientific reports*, 10(1), 1-15.
- Michael, N., Fink, J., & Kumar, V. (2011). Cooperative manipulation and transportation with aerial robots. *Autonomous Robots*, 30(1), 73-86.
- Moon, S., Oh, E., & Shim, D. H. (2013). An integral framework of task assignment and path planning for multiple unmanned aerial vehicles in dynamic environments. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 70(1), 303-313.
- Novoa-Hernández, P., Corona, C. C., & Pelta, D. A. (2016). Self-adaptation in dynamic environments-a survey and open issues. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 8(1), 1-13.
- Oh, G., Kim, Y., Ahn, J., & Choi, H.-L. (2016). PSO-based optimal task allocation for cooperative timing missions. *IFAC-PapersOnLine*, 49(17), 314-319.
- Phung, M. D., & Ha, Q. P. (2021). Safety-enhanced UAV path planning with spherical vector-based particle swarm optimization. *Applied Soft Computing*, 107, 107376.
- Rautray, R., & Balabantaray, R. C. (2017). Cat swarm optimization based evolutionary framework for multi document summarization. *Physica a: statistical mechanics and its applications*, 477, 174-186.
- Rodriguez-Guerrero, M. A., Jaen-Cuellar, A. Y., Carranza-Lopez-Padilla, R. D., Osornio-Rios, R. A., Herrera-Ruiz, G., & Romero-Troncoso, R. d. J. (2017). Hybrid approach based on GA and PSO for parameter estimation of a full power quality disturbance parameterized model. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(3), 1016-1028.
- Shucker, B., & Bennett, J. K. (2005). Target tracking with distributed robotic macrosensors. *MILCOM 2005-2005 IEEE Military Communications Conference*,
- Song, B., Wang, Z., & Zou, L. (2021). An improved PSO algorithm for smooth path planning of mobile robots using continuous high-degree Bezier curve. *Applied Soft Computing*, 100, 106960.
- Stephan, J., Fink, J., Kumar, V., & Ribeiro, A. (2017). Concurrent control of mobility and communication in multirobot systems. *IEEE Transactions on Robotics*, 33(5), 1248-1254.
- Vásárhelyi, G., Virágh, C., Somorjai, G., Nepusz, T., Eiben, A. E., & Vicsek, T. (2018). Optimized flocking of autonomous drones in confined environments. *Science Robotics*, 3(20), eaat3536.
- Wang, G.-G., Deb, S., Gandomi, A. H., & Alavi, A. H. (2016). Opposition-based krill herd algorithm with Cauchy mutation and position clamping. *Neurocomputing*, 177, 147-157.
- Wu, H.-S., & Zhang, F.-M. (2014). Wolf pack algorithm for unconstrained global optimization. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.
- Wubben, J., Fabra, F., Calafate, C. T., Cano, J.-C., & Manzoni, P. (2021). A novel resilient and reconfigurable swarm management scheme. *Computer Networks*, 194, 108119.

- Xia, Z., Hu, F., Jeong, N., & Rasheed, I. (2020). Resilient UAV Networks: Solutions and Trends. In UAV Swarm Networks (pp. 223-240). CRC Press.
- Zavlanos, M. M., Jadbabaie, A., & Pappas, G. J. (2007). Flocking while preserving network connectivity. 2007 46th IEEE Conference on Decision and Control,
- Zhang, X., Sun, B., Mei, T., & Wang, R. (2013). A novel evolutionary algorithm inspired by beans dispersal. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 6(1), 79-86.
- Zhang, Y., Cheng, S., Shi, Y., Gong, D.-w., & Zhao, X. (2019). Cost-sensitive feature selection using two-archive multi-objective artificial bee colony algorithm. *Expert Systems with Applications*, 137, 46-58.
- Zhang, Y., Gong, D.-w., & Cheng, J. (2015). Multi-objective particle swarm optimization approach for cost-based feature selection in classification. *IEEE/ACM transactions on computational biology and bioinformatics*, 14(1), 64-75.
- Živojević, D., & Velagić, J. (2019). Path planning for mobile robot using Dubins-curve based RRT algorithm with differential constraints. 2019 International Symposium ELMAR

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), which provide collective movement, are aircraft that can be controlled more than once, autonomously or semi-autonomously, are in constant communication with each other, perform their task as a whole, and have different sizes and capabilities (Rautray and Balabantaray, 2017). Today, swarm intelligence has been adapted to artificial intelligence studies by examining large animal swarms in nature and taking the behavior patterns related to them as an example and is based on certain physical principles (Novoa-Hernández et al., 2016). With the increase in the use of UAVs, swarm movement tasks are created by using UAV groups acting in coordination with each other to be used in tasks that a single UAV cannot perform. These tasks include coordinated raiding (Zavlanos et al., 2007), large exploration formations (Khan et al., 2020; Stephan et al., 2017), and cargo handling (Michael et al., 2011). Determining swarm sizes; varies according to tasks such as search-and-rescue or target scanning. These tasks consist of autonomously assigning direction and target to each of the UAVs in a swarm, path planning for the swarm, and swarm cooperation (Rautray and Balabantaray, 2017). With the development of technology, swarm autonomous UAVs have begun to be used in studies that have a high impact on society such as production, disaster recovery, and military fields (Chung et al., 2018). In these applications, in attack coordination and reconnaissance missions, the drone swarm should be able to cover multiple areas in less than a single area, and the failure of any swarm member should not lead to the failure of the mission. However, as the size of the swarm increases, a common planning and detection algorithm is needed (Rautray and Balabantaray, 2017). In order for swarm UAVs to perform their duties and prevent emerging threats, they need to make road planning with the criteria determined by the applications developed (Phung and Ha, 2021). Algorithms for solving task-related problems in swarms; It is divided into two basic categories as centralized algorithms and distributed algorithms. Counting method, dynamic programming, branch-and-bound procedure etc. In addition to many distributed algorithms such as genetic algorithm (Liu and Kroll, 2016), particle swarm optimization (PSO), (Oh et al., 2016), ant colony optimization (Boveiri, 2017), wolf swarm algorithm (Wu and Zhang, 2014) and cat swarm optimization (Rautray and Balabantaray, 2017). The enormous computational complexity in assigning tasks in swarms causes difficulties for the kernel node. In addition, the lack of collaborative features weakens the performance of the results obtained in the dynamic swarm environment (Novoa-Hernández et al., 2016). Therefore, in order to solve the dynamic task allocation problem, the information interaction between distributed algorithms and UAVs must be maintained.

Unmanned autonomous technology, when combined with swarm work, can provide advantages in operational military missions designed for both offensive and defensive purposes. In addition, the use of artificial intelligence in operational activities can increase the success and speed of coordination (Phung and Ha, 2021).

Materials and Methods

In this study, the applications for the UAV systems were carried out with MATLAB Simulink. In a target search study; targets can move at a certain speed (assuming the V_{TARGET} speed at which pedestrians or vehicles can move) within the boundaries of the searched area, and UAVs do not have information about the actual speed or route of each target. Targets are free to set their own course and speed and are assumed to have the ability to dodge wisely. Each target is able to detect the searching UAVs from a certain distance and then maneuver to evade detection.

In this study, UAVs focused on target detection. A UAV that provides access to target information is intended to share information with other member UAVs. In order to perform the target search, a group of UAVs is formed, which is left to the operator's choice depending on the task and each flying at a constant V_{UAV} speed, and it is assumed that each vehicle can detect targets according to a certain detection range.

The execution of the algorithm performed in this study is carried out by transferring a minimum number of control information between the UAVs. Dubins Curve was used to increase target search efficiency and Bezier Curves were used to smooth the turns of simulated swarm UAVs.

In the road planning carried out in this study, a function was created for the route points produced. In the created function, as shown in Figure 9, the instantaneous velocity of the swarm member is expressed as V_t , its instantaneous position as X_t , and its velocity and positions after Δ_t unit time are expressed as $V_{(t+\Delta t)}$, $X_{(t+\Delta t)}$. In addition, it is accepted that the direction angle is free in the turns of the UAVs.

In the application, first of all, the number of UAVs ($N_{agents} = 4$) desired to be found in the base area was added to the simulation, then the number of active UAVs, that is, the number of UAVs to be included in the swarm ($Active_Agents = 3$) was determined. After determining the number of UAVs to be used in the swarm, respectively; Starting time ($t=0$), counting operation ($activeCounter = 0$), and waiting time during reading ($readToDeploy = 0$) parameters were determined, and then map coordinate data was added to the simulation. With the created speed and curve function, UAVs can make turns at smaller angles. After destroying the target, information was sent to the UAV in the base area. Knowing the target coordinate, the UAV in the base area headed for the coordinate without scanning the map. The UAVs, which approved the neutralization of the target, returned to the base.

In this study, the effect of weather conditions on optimization was calculated while target detection was carried out with a lot of UAVs created in the simulation. Thus, the environmental information of the UAVs, which is important for the optimal strategy, is processed in the algorithm.

Findings

The speed, position and simulation time results were obtained with the number of active UAVs entered by the operator and the wind data of the environment. As a result, the swarm of UAVs reached a speed of up to 30 km / h within the x and y coordinates of the simulation map in the range of -800 to 1000, and the control and destruction of the target were carried out. Swarm UAVs completed target detection in 2 minutes and 29 seconds in the simulation.

Discussion

In many UAV communities, UAVs must pass through crossing points to minimize flight costs such as total flight distance and flight time. This is achieved with optimum path planning. In the target search and detection application carried out in this study, it was observed that the UAVs fly long distances, the speed and positions of the UAVs in the swarm were updated with the PSO algorithm to reduce flight costs, and as a result, target detection was carried out with a low flight distance and duration.